مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال شانزدهم، شمارهٔ ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۷، شمارهٔ پیاپی ۳۰

DOI: 10.22067/geography.v16i1.72922

بررسی ارتباط دمای خاک با پارامترهای آب و هوایی در شمال غرب ایران (۲۰۱۵-۱۹۹۲)

محمد باعقیده (دانشیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی،دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران، نویسندهٔ مسئول)
mbaaghideh2005@yahoo.com
علیرضا انتظاری (دانشیار گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی،دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران)
entezari2005@gmail.com
آزیتا کردی (دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران)
kordi.azita@gmail.com

صص ۳۰۷ ـ ۲۷۹

چکیده

اهداف: دسترسی به داده‌های درجه حرارت در اعماق مختلف خاک برای اهداف زیست محیطی، کشاورزی، مدیریت شهری و ساختمان دارای اهمیت است. با توجه به این‌که دمای خاک فقط در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور اندازه گیری می‌شود و در پاره‌ای از موارد نیز دارای خلأهای آماری است، کمبود آن در نقاط فاقد ایستگاه یکی از چالش‌های بزرگ است. تحقیق حاضر با رویکردی توصیفی- تحلیلی با هدف بررسی روند دمای خاک و سنجش رابطهٔ بین پارامترهای هواشناسی و دمای خاک در منطقهٔ شمال غرب ایران طی دورهٔ آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵ واکاوی شد.

روش: متغیرهای مورد استفاده شامل میانگین دما، کمینه و بیشینهٔ دما، بارش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، فشار ایستگاه، سرعت باد و دمای اعماق خاک (۵،۲۰،۱۰۰سانتی‌متر) بودند. روند تغییرات دمای خاک در عمق‌های منتخب با استفاده از روش ناپارامتری منکندال بررسی شد و با استفاده از رگرسیون‌های هم-زمان، دمای خاک در سه عمق مختلف برآورد شد. جهت اعتبارسنجی روابط پیشنهادی از آماره‌های MAE، MBE ، RMSE، R2 استفاده شد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۳/۰۱   تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۷/۲۸

یافته ها/ نتایج: نتایج تحقیق نشان داد، متغیرهای میانگین دمای هوا و حداکثر دما بیشترین تأثیر را بر دمای خاک داشتند و در ایستگاه‌های مطالعه‌شده بیشترین ضریب تعیین درعمق ۵ و۲۰ سانتی‌متری مشاهده شد. اکثر ایستگاه‌ها در اعماق مختلف خاک با پدیدهٔ روند افزایشی دما مواجه بوده‌اند که این روند برای بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی بیشتر بوده است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک که نمایشگر تغییر اقلیم است و دمای سطحی خاک که نشان‌دهندهٔ تغییرات کوتاه‌مقیاس است، می‌توان دریافت که پدیدهٔ تغییر اقلیم در حال رخ دادن است و روی پارامتر دمای خاک هم تأثیر چشم‌گیری داشته است.

کلیدواژه‌ها: دمای خاک، پارامترهای آب و هوایی، رگرسیون چندگانه، شمال غرب ایران.

۱. مقدمه

اطلاع داشتن از دمای خاک به‌عنوان یک پارامتر مهم هواشناسی، در تحقیقات مختلف علمی از اهمیت ضروری برخوردار است. به طور کلی خاک دارای ظرفیت ذخیره‌سازی حرارت بالا و نرخ انتشار حرارتی پایین است و روند تغییرات درجهٔ حرارت آن آهسته است . با توجه به انتشار حرارتی کم، خاک قادر به انتشار گرما به جو در طول دورهٔ سرد سال است (فرگوسن و بلترامی [1]، ۲۰۰٦، ص. ۲۱۹). در مقابل در سراسر دورهٔ گرم و یا در طول فصل تابستان خاک از جو گرما جذب می‌کند که می‌تواند در فصل زمستان مؤثر باشد. این چرخه که بین خاک و جو در طول سال اتفاق می‌افتد نشان می‌دهد که خاک منبع خوبی از پتانسیل انرژی حرارتی است. در دورهٔ سرد خاک گرم‌تر از هوا و محیط اطراف است و در دورهٔ گرم، عکس این حالت اتفاق می‌افتد. بنابراین، دمای خاک به‌عنوان یک پارامتر هواشناسی مهم برای انواع برنامه‌های کاربردی به کار می‌رود (بیلگیلی، ساهین و سانگان [2]، ۲۰۱۳، ص. ۳۰٦). روابط غیرخطی پیچیده بین پاسخ‌های درجه حرارت هوا و خاک به تغییرات آب و هوایی

1. Ferguson and Beltrami
2. Bilgili,Sahin and Sangun

وجود دارد (جانگویست، کانی، تـوتچبین، مـارتین و فـوتر[1] ، ۲۰۱٤، ص. ۲). .بررسـی رونـد تغییرات دمای خاک در طول زمان می‌تواند به‌عنوان نشـانه‌ای بـرای تغییـر اقلـیم مـدنظر قـرار گرفته شود؛ اما به ندرت به‌عنوان شاخص این نوع تغییرات گزارش شده است. دمـای خـاک و نوسانات آن منجر به تغییر در درجه حرارت هوا و بارش می‌شـود کـه هـر دو بـه طـور قابـل توجهی با تغییرات آب و هوا در ارتباط است (بای، اسکات و مین[2]، ۲۰۱٤، ص. ۳۵۰). درجـه حرارت خاک و رطوبت آن از عوامل مهمی است که تجزیهٔ مواد آلی، چرخهٔ آب و رشد گیـاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌خصوص میکروارگانیسم‌های لایه‌های سطحی خـاک تأثیرپـذیری بالایی از تغییرات دما نشان می‌دهند (رانکینن، کارونن و باترفیلد[3]، ۲۰۰٤، ص. ۷۰۷). بنـابراین، دمای خـاک و تغییـرات آن نمـی‌توانـد در مطالعـات تغییـرات آب و هـوایی و اثـرات آن بـر اکوسیستم و فعالیت‌های انسان نادیده گرفته شود.

۲. پیشینهٔ تحقیق

تاکنون مطالعات زیادی در زمینهٔ برآورد دمای خاک صورت گرفته است. روش‌های سـری فوریه، رگرسیون چندمتغیرهٔ خطی، شبکه‌های عصبی، معادلات موازنهٔ انرژی و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی از جمله روش‌های بررسی رژیم دمایی سطح و ژرفای خاک است. احمد و رسول[4] (۲۰۰۸،) در پاکستان با استفاده از داده‌های میانگین دمای هوا و مدل رگرسیونی بـه پـیش‌بینـی دمای خاک پرداختند. آن‌ها گزارش دادند بالاترین مقدار ضریب تعیین مـدل (۰/۸٦) در فصـل بهار و در عمق ۱۰ سانتی‌متر و کمترین آن در فصل زمستان به مقدار ۰/۳۲ برآورد شـد. کـارتر و آندرن[5] (۲۰۰۹) جهت تخمین دمای خاک اطلاعات مربوط به دمای هـوا و درجـه حـرارت خاک در شش عمق مختلف را از ایستگاه‌های هواشناسی سوئد جمع‌آوری کردند. نتایج نشـان داد در تمام اعماق برای ۹۵ درصد از ایستگاه‌ها مقادیر شبیه‌سـازی دمـای خـاک کمتـر از ۲/۸ درجهٔ سانتی‌گراد با مقادیر اندازه‌گیری‌شده اختلاف داشت. جهت بررسی تأثیر تغییـر اقلـیم بـر

1. Jungqvist, K.oni, Teutschbein, Martyn and Futter.
2. Bai, Scott abd Min
3. Rankinen, Karvonen, Butterfield
4. Ahmad, Rasul
5. Katterer & Andren

روند دمای خاک متغیرهای هواشناسی دمای هوا، بارش، درجه حرارت خاک و عمق برف بر روی زمین از ۳۰ ایستگاه طی دورهٔ آماری ۲۰۰۸– ۱۹۵۸ در کانادا جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد دمای خاک در فصل بهار و تابستان دارای روند افزایشی و معنادار است، افزایش در دمای خاک همراه با روند افزایشی در دمای هوا و کاهش عمق برف همراه خواهد بود (کوئین، گرگوریچ، گامدا، هپکینز و وانگ[1]، ۲۰۱۱، ص. ۱۲). چو، لانگ، مک و لی[2] (۲۰۱۱) ارتباط بین درجه حرارت خاک و پارامترهای هواشناسی را در هنگ کنگ بررسی کردند. نتایج مدل رگرسیون چندمتغیره نشان داد درجه حرارت خاک به شدت به دمای هوا وابسته است درحالی که ارتباط آن با رطوبت نسبی، بارش و سرعت باد بسیار کم است. طبری، حسین‌زاده و ویلمز[3] (۲۰۱۵) جهت پیش‌بینی درجه حرارت خاک در دو ایستگاه هواشناسی مرطوب و خشک (ساری و زاهدان) از داده‌های دمای هوا و دمای خاک به‌عنوان ورودی برای مدل شبکهٔ عصبی مصنوعی استفاده کردند، نتایج نشان داد مدل‌های استفاده‌شده از اعتبار لازم برخوردار هستند. جعفری گلستانی، سرجاز و احمدی (۱۳۸٦) با استفاده از روابط رگرسیونی، معادلات تجربی را جهت تخمین دمای خاک شهر ساری در عمق های ۷ و ۲۰ سانتی‌متر پیشنهاد کردند. نجفی مود، علیزاده، محمدیان و موسوی (۱۳۸۷) به منظور برآورد عمق یخبندان خاک و ارائهٔ یک رابطهٔ ساده و منطقی بین درجهٔ حرارت هوا و اعماق مختلف خاک از ایستگاه‌های هواشناسی خراسان پژوهشی انجام دادند، نتایج آن‌ها منجر به ارائهٔ یک معادلهٔ درجه دوم به ازای هر عمق خاک شد. سبزی پرور، زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۸۹) به برآورد میانگین روزانهٔ دمای خاک در چهار نمونهٔ آب وهوای ایران با روش همبستگی خطی چندمتغیره پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که اهمیت تاثیر متغیرهای هواشناسی بر دمای خاک در آب و هواهای مختلف یکسان نیست. جهت بررسی روند دمای اعماق خاک در ایستگاه یزد داده‌های روزانهٔ دمای اعماق خاک در ساعات ۰۳، ۰۹ و ۱۵ گرینویچ تجزیه و تحلیل شد. نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین دامنهٔ نوسان روزانهٔ دما در عمق ۵ سانتی‌متری و در فروردین ماه است (مزیدی و فلاح زاده، ۱۳۹۰، ص. ۳۹). گلشن، سرجاز و ولاشدی (۱۳۹۲) به بررسی روند

1. Qian, Gregorich,Gameda, Hopkins, and Wang
2. Chow, Long, Mok and Li.
3. Tabari, Hosseinzadeh Talaee and Willems

معنی‌دار در دمای هوا و دمای خاک با استفاده از آزمون ناپارامتری مـن-کنـدال در ژرفـای ۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر ی خاک در ایستگاه سینوپتیک کرمان پرداختند یافته‌های این پژوهش نشـان داد دمای خاک در ماه‌های ژانویه، آوریل و آگوست در ژرفای ۵ سانتی‌متری خاک رونـد کاهشـی معنی‌دار و در ماه مارس و ژوئن در ژرفای ۱۰۰ سانتی‌متری خاک روند افزایشی معنـی‌دار دارد و نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک نمایشگر تغییر اقلـیم و دمـای سـطحی خـاک نشـان‌دهنـدۀ تغییرات کوتاه مقیاس است. بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد در هیچ یک از پـژوهش‌هـای منطقۀ مطالعه‌شده (شمال غرب) به صورت جـامع مطالعـه نشـده اسـت. در برخـی مطالعـات انجام‌شده در میان عناصر آب وهوایی تنها دمای خاک مد نظر قرار گرفته است و مطالعـات در سطح محدود به یک یا چند ایستگاه، یا نهایتا محدود به یک استان بوده است که از جملۀ ایـن پژوهش‌ها می‌توان به مطالعات صورت‌گرفته در بررسی رژیم دمای هوا و اعماق خاک و تعیین نوسانات آن در کردستان که ثنائی‌نژاد، عباسی، موسوی بایگی و حیدری گندمان (۱۳۸۷) انجام داده‌اند و پژوهش خلیلی اقدم، جدیدی و نعیمی (۱۳۹۲) دربارۀ مطالعۀ تغییرات دمـای هـوا و اعماق خاک به منظور برآورد عمق نفوذ یخبندان در ارومیه و تحقیق افشارزاده (۱۳۸۹) دربـارۀ ارتباط نوسانات دمای هوا با دمای اعمـاق خـاک در آذربایجـان شـرقی، اشـاره کـرد. در ایـن پژوهش بررسی تغییرات در روند دمای خاک و به مـوازات آن بررسـی رابطـۀ دمـای خـاک و پارامترهای آب و هوایی مد نظر بوده تا با شناسایی مؤثرترین پارامترها معادلات پـیش‌بینـی‌گـر برای کل گسترۀ جغرافیایی شمال غرب ایران تدوین شود.

۳. روش‌شناسی تحقیق

۳. ۱. روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف بررسی روند دمای خاک و سنجش رابطۀ بین پارامترهـای آب و هـوایی و دمای خاک در منطقۀ شمال غرب ایـران طـی دورۀ آمـاری ۱۹۹۲ تـا ۲۰۱۵ انجـام مـی‌گیـرد. داده‌هـای استفاده‌شده در این پژوهش شامل میانگین دما، کمینـه و بیشـینۀ مطلـق دمـا، بـارش، رطوبـت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار ایستگاه و دمای اعماق خاک (۵، ۲۰ ،۱۰۰) سانتی‌متـر است که آمار این پارامترها برای ۳۱ ایستگاه سینوپتیک بـه صـورت روزانـه طـی دورۀ آمـاری

(۲۰۱۵-۱۹۹۲) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. دمای خاک ثبت‌شده در ایستگاه‌ها در ساعات ٦:۳۰ و۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ به وقت محلی کشور بود که با میانگین‌گیری آن‌ها در سه نوبت متوسط دمای روزانه در اعماق مختلف خاک به دست آمد. با توجه به گستردگی منطقهٔ مطالعه‌شده جهت بررسی تأثیرپذیری دمای اعماق مختلف خاک از پارامترهای آب و هوایی، در گام اول تلاش شد ابتدا خرده‌نواحی آب وهوایی محدودهٔ مطالعه‌شده شناسایی شود تا روابط دمای خاک با عناصر آب و هوایی در این نواحی بررسی شود. در این راستا ابتدا از روش تحلیل عاملی و سپس از متد خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با روش ادغام وارد استفاده شد و ایستگاه‌ها براساس نمرات عاملی گروه‌بندی شدند. به منظور شناسایی پارامترهای آب و هوایی مؤثر بر دمای خاک از روش همبستگی پیرسون و رگرسیون چندمتغیره استفاده شد. محققان بسیاری از کاربرد مدل رگرسیونی برای برآورد پارامترهای مختلف استفاده کرده‌اند. از آن جایی که این روش به خوبی می‌تواند تأثیر چند متغیر مستقل را بر متغیر وابسته نشان دهد سعی شد قابلیت مدل رگرسیون چندمتغیره نیز در پیش‌بینی دمای خاک به صورت معادلهٔ رگرسیونی بررسی شود (رابطهٔ ۱).

با اجرای مدل رگرسیون هم‌زمان مناسب‌ترین مدل رگرسیون چندمتغیره در برآورد دمای خاک در اعماق مختلف به دست آمد. به دلیل جلوگیری از افزایش حجم مقاله نتایج مربوط به اعماق (۵،۲۰،۱۰۰) سانی‌متری ذکر شده است و از درج نتایج کلیهٔ معادلات رگرسیونی ایستگاه‌ها در این پژوهش خودداری شد.

$$Y = ab_1x_1 + b_2x_2 + ... + b_nx_n$$ رابطهٔ (۱)

به منظور بررسی روند و آشکارسازی تغییرات اقلیمی از دیدگاه آماری، روش‌های مختلفی به کار گرفته می‌شود. روش‌های تعیین روند به دو دسته تقسیم می‌شوند: روش پارامتری و ناپارامتری. روش مورد استفاده در این پژوهش روش ناپارامتری من-کندال[1] است. ابتدا مَن (۱۹٤۵) روش من-کندال را ارائه کرد و سپس کندال (۱۹۷۰) آن را بسط و توسعه داد. فرض صفر آزمون من-کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده ها است.

1. Man- Kendall

معمولا از ابزار اعتبارسنجی جهت انتخاب مدل مناسب استفاده می‌شود. سپس خطای پیش بینی را می‌توان از اختلاف مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر اصلی بررسی و مدل‌های آماری مورد نظر را به وسیلهٔ این خطا ارزیابی کرد.

در این پژوهش به منظور ارزیابی معادلات رگرسیونی مذکور در برآورد دمای اعماق خاک از آماره‌های R^2، RMSE[1]، MAE[2]، MBE[3] استفاده شد که روابط آن به شرح زیر است:

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-y_i\right)^{r}}{n}}$$ رابطهٔ(۲)

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|x_i-y_i\right|}{n}$$ رابطهٔ (۳)

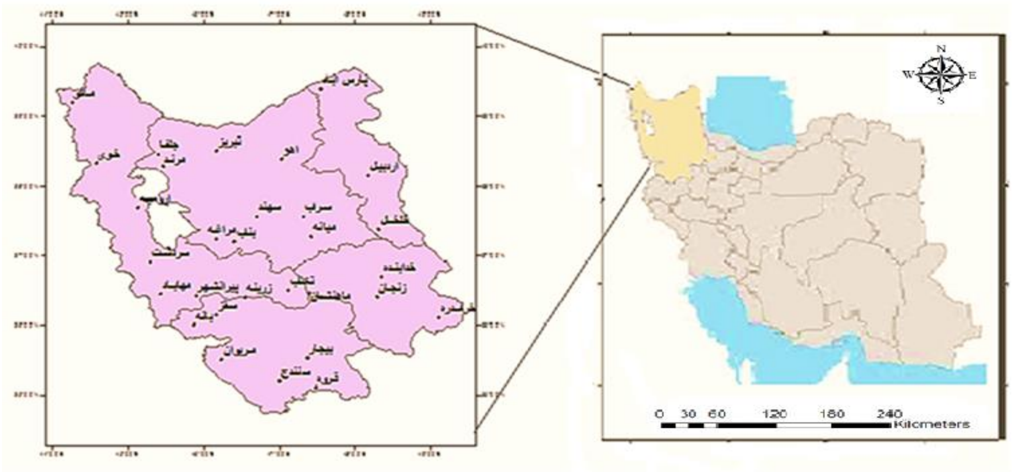
$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-y_i\right)}{n}$$ رابطهٔ (٤)

$$R^2=\frac{\left[\sum_{i=1}^{n}\left(x_i-\overline{x}\right)\left(y_i-\overline{y}\right)\right]^2}{\sum_{i}^{n}\left(x_i-\overline{x}\right)\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\overline{y}\right)}$$ رابطهٔ (۵)

۳. ۲. منطقهٔ مطالعه‌شده

در این نوشتار منطقهٔ شمال غرب کشور، پهنه‌ای است کـه اسـتان‌های آذربایجـان شـرقی، آذربایجـان غربی، اردبیل، زنجان و کردستان را در برمی‌گیرد. این بخش از کشور ۷/۲ درصد از کل مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. از مهم‌ترین عناصر توپوگرافی شمال غرب می‌توان رشته‌کوه‌های ارسـباران، بزغوش، دیواره‌ی زاگرس، توده‌های سهند و سبلان، چالهٔ دریاچهٔ ارومیه و جلگهٔ مغان را نـام بـرد. شـکل (۱) موقعیت شمال غرب در کشور و موقعیت ایستگاه‌های مطالعه‌شده را نشان می‌دهد.

1. Root Mean Square Error
2. Mean Absolute Error
3. Mean Bias Error



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منطقهٔ شمال غرب ایران

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

٤. مبانی نظری تحقیق

آب و هوا، برآمد شرایط جوی یک محل طی بازهٔ زمانی معین (معمولاً چند دهه) است. به عبارت دیگر، رویدادهای پربسامد جوی طی سالیان متمادی را آب و هوا گویند. بنابراین، در یک جمع‌بندی و طبق تعریف ارائه‌شده، آب و هوا را می توان به شکل زیر تعریف کرد: هوای غالب یک محل در دراز مدت را آب و هوا (اقلیم) گویند (علیجانی وکاویانی، ۱۳۷۱، ص. ۳).

عناصر اقلیمی، پارامترهای مستقلی چون، دما، رطوبت، فشار و تابش خورشید هرکدام یک عنصر اقلیمی تلقی می شوند (علیجانی وکاویانی، ۱۳۷۱، ص. ٢٤).

دمای خاک، یکی از پارامترهای فیزیکی عمدهٔ خاک بوده، رشد و نمو گیاهان و تکوین فرآیندهای خاکسازی در گرو تغییرات آن است. مطالعهٔ دمای خاک در اعماق مختلف از نظر هواشناسی، به‌خصوص در خرد مقیاس، اقلیم‌شناسی، کشاورزی و صنعت حائز اهمیت بوده، تغییرات آن نیز تابعی از دمای هوای مستقر در سطح خاک است (بهیار، ۱۳۸٦، ص. ۲). درجهٔ حرارت خاک و ارتباط آن با دمای محیط هر دو توسط تعادل انرژی گرمایی در روابط جو و زمین اداره می‌شود، با این حال روابط بین آن‌ها پیچیده است؛ چراکه هوا و خاک ظرفیت گرمایی و انتقال حرارتی مشخص و متفاوتی دارند. تعادل انرژی سطحی ممکن است بیشتر

توسط پوشش گیاهی، پوشش برف، توپوگرافی و خواص خاک انجام شود. تغییر در دمای هوا می‌تواند منجر به تغییر دمای خاک از طریق مکانیسم‌های انتقال حرارت شود. برای درک چگونگی پاسخ اکوسیستم‌های زمینی به تغییرات جهانی آب و هوا بررسی تغییرات درجه حرارت خاک ضروری است. بنابراین، برآورد دمای خاک نیازمند آگاهی از ویژگی‌های فیزیکی و برهم کنش بین عوامل جوی و سطح آن با خاک است (قهرمان، ایران نژاد و ولاشدی، ۱۳۹۳، ص. ۲٤٥).

۵. یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از انجام مراحل ذکرشده در مبحث مواد و روش‌ها در جداول ۱ تا ٤ آورده شده‌اند. تحلیل عاملی نشان می‌دهد آب وهوای منطقه حاصل تعامل دو عامل اصلی است. عواملی که در این راستا استخراج شدند عبارتند از: ۱- عامل دما ۲- عامل رطوبت- بارش. با گروه‌بندی ایستگاه‌ها بر این اساس، پنج ناحیهٔ آب وهوایی متمایز حاصل شد. قبل از انجام محاسبات و تعیین معادلات رگرسیون چندمتغیره به منظور نشان دادن میزان همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و دمای اعماق مختلف خاک در نواحی مختلف آب و هوایی، ضریب همبستگی پیرسون در ایستگاه‌ها محاسبه شد.

ناحیهٔ یک: شامل ایستگاه‌های سهند، کلیبر، خرم دره، خوی، زنجان، ارومیه، اهر، ماکو، خدابنده، بیجار، سقز، قروه (میانگین دما ۱۱/۷۱، بارش ۳۳۱/٤).

ناحیهٔ دو: ایستگاه‌های زرینه، تکاب، خلخال، سراب، اردبیل(میانگین دما ۸/۹۵، بارش ۳۲۹/۸).

ناحیهٔ سه: ایستگاه‌های پارس آباد، جلفا، میانه، بناب، ماه نشان (میانگین دما ١٤/۹۸، بارش ۲٦۹/۹).

ناحیهٔ چهار: ایستگاه‌های مراغه، مهاباد، تبریز، مرند، سنندج (میانگین دما ۱۳/۳۳، بارش ۳۵۷/۱).

ناحیهٔ پنج: ایستگاه‌های مریوان، سردشت، بانه و پیرانشهر(میانگین دما ۱۳/۲۷، بارش ۷۸۳/۵).

نتایج ارتباط اولیه میان پارامترهای آب وهوایی و دمای عمق خاک (۵،۲۰،۱۰۰) سانتی‌متری براساس ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که در بین نواحی آب و هوایی منطقهٔ مطالعه‌شده بیشترین ارتباط در نواحی ۳ و ٤ و کمترین ارتباط‌ها در نواحی ۱، ۲ و ۵ وجود دارد. نتایج نشان داد که در تمامی نواحی در ایستگاه‌های هواشناسی در بازهٔ زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵، پارامترهای آب وهوایی دما و ساعات آفتابی بالاترین ارتباط به صورت مستقیم را با دمای عمق خاک دارند که در این میان دمای بیشینه و میانگین دما بالاترین ارتباط را نشان داده‌اند. بین پارامتر رطوبت نسبی و دمای خاک ارتباط معکوس (منفی) مشاهده شد. برای پارامتر سرعت باد و فشار ایستگاه و بارش ارتباط معنی داری مشاهده نشد. بنابراین، پارامترهای دمایی تعیین‌کنندهٔ وضعیت دمای عمق خاک بوده و با افزایش عمق خاک به تدریج ارتباط دمای خاک با پارامترهای دمایی کاهش می‌یابد. در واقع وقوع دماهای کمینه و بیشینه در اعماق خاک نسبت به افزایش عمق با تأخیر بیشتری همراه خواهد بود. جدول (۲) مدل‌های رگرسیونی برگزیده را همراه با ضریب تعیین مربوطه نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین ضریب همبستگی بین دمای اعماق خاک و پارامترهای هواشناسی در نواحی آب و هوایی پنجگانه طی دورهٔ آماری (۲۰۱۵-۱۹۹۲)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

ناحیه	عمق خاک (cm)	Wind (m/s)	T_{min} (°C)	T_{max} (°C)	T_{avg} (°C)	RH (٪)	sunshn (h)	Rain (mm)	QFE (hpa)
۱	۵	۰/۱۱۱	۰/۹۳٤	۰/۹٦۰	۰/۹٦۵	-۰/٦٤۵	۰/٦۸۷	-۰/۱۱۸	-۰/۲٤۰
	۲۰	۰/۰۹۸	۰/۹۲۹	۰/۹٤٦	۰/۹۵٤	-۰/٦۱۵	۰/۵۸۵	-۰/۰۹۷	-۰/۲۰۹
	۱۰۰	۰/۰۰۸	۰/۸۱٤	۰/۸۳۰	۰/۸۳۵	-۰/۵۱۵	۰/٤۹٤	-۰/۰۹۹	-۰/۰٤٤
میانگین		۰/۰۷۲	**۰/۸۹۲	**۰/۹۱۲	**۰/۹۱۸	*-۰/۵۹۱	*۰/۵۸۸	-۰/۱۰٤	-۰/۱٦٤
۲	۵	۰/۱۳۸	۰/۸۹۵	۰/۹٤۳	۰/۹۵٤	-۰/۵۹۰	۰/٦۲٤	-۰/۱۲۵	-۰/۰۵٦
	۲۰	۰/۱۳۵	۰/۸۹۳	۰/۹۳۰	۰/۹٤۳	-۰/۵٦٤	۰/۵۹۵	-۰/۱۰۳	-۰/۰۲٤
	۱۰۰	۰/۰٦۷	۰/۷۸٦	۰/۸۳۰	۰/۸۳٤	-۰/٤۸۷	۰/۵۱۷	-۰/۱۱۳	۰/۱۰۹
میانگین		۰/۱۱۳	**۰/۸۵۸	**۰/۹۰۱	**۰/۹۱۰	-۰/۵٤۷*	*۰/۵۷۸	-۰/۱۱۳	۰/۰۰۹

ادامه جدول ۱

ناحیه	عمق خاک (cm)	Wind (m/s)	T_{min} (°C)	T_{max} (°C)	T_{avg} (°C)	RH (٪)	sunshn (h)	Rain (mm)	QFE (hpa)
۳	۵	۰/۲۹۹	۰/۹۵۳	۰/۹۶۲	۰/۹۷۶	−۰/۷۳۰	۰/۶۵۵	−۰/۱۰۶	−۰/۵۶۸
	۲۰	۰/۲۹۴	۰/۹۵۱	۰/۹۵۰	۰/۹۶۷	−۰/۷۰۸	۰/۶۲۹	−۰/۰۸۵	−۰/۵۳۷
	۱۰۰	۰/۱۷۸	۰/۸۲۶	۰/۸۱۶	۰/۸۳۱	−۰/۵۷۱	۰/۵۲۴	−۰/۰۸۲	−۰/۳۴۲
میانگین		۰/۲۵۷	**۰/۹۱	**۰/۹۰۹	**۰/۹۲۴	**_۰/۶۶۹	۰/۶۰۲**	−۰/۰۹۱	−۰/۴۸۲
٤	۵	۰/۲۳۱	۰/۹٤۵	۰/۹۶۷	۰/۹۷۳	−۰/۷۷۱	۰/۶۷۶	−۰/۱۵۷	−۰/۳٤۹
	۲۰	۰/۲۲۳	۰/۹٤۰	۰/۹۵۸	۰/۹۶۳	−۰/۷٤۹	۰/۶٤۹	−۰/۱۳۸	−۰/۳۱۳
	۱۰۰	۰/۱۲۹	۰/۸۳۰	۰/۸٤۹	۰/۸۵۰	−۰/۶٤۹	۰/۵۶۲	−۰/۱۳۷	−۰/۱۶۲
میانگین		۰/۱۹٤	**۰/۹۰۵	**۰/۹۲٤	**۰/۹۲۸	−۰/۷۲۳**	**۰/۶۲۹	−۰/۱٤٤	−۰/۲۷٤
۵	۵	−۰/۰۱٤	۰/۸۶۱	۰/۹۰۰	۰/۹۶٤	−۰/۷۶۵	۰/۶۱۰	−۰/۲۱۸	−۰/۲۲۷
	۲۰	۰/۰۵۶	۰/۸۹۰	۰/۹۲۵	۰/۹۶۱	−۰/۷۸۲	۰/۶۳۵	−۰/۲۳۵	−۰/۲٤٤
	۱۰۰	۰/۰۱٤	۰/۷۸٤	۰/۸۲۲	۰/۸۷٤	−۰/۷۲۱	۰/۵٤۲	−۰/۲۱۷	−۰/۱۲۱
میانگین		۰/۰۱۸	**۰/۸٤۵	**۰/۸۸۲	**۰/۹۳۳	−۰/۷۵۶**	**۰/۵۹۵	−۰/۲۲۳	−۰/۱۹۷

** معنادار در سطح ۰/۰۱	* معنادار در سطح ۰/۰۵

نتایج مدل رگرسیون چندمتغیره به روش جبری بـرای تعیـین نـوع رابطـه و تعیـین میـزان ارتباط مؤثر هر کدام از پارامترهای آب وهوایی با دمای هرعمق خـاک در جـدول ۳ مشـخص شده است. در این راستا ابتدا روش‌های پیش‌نیاز آزمون شد و عدم وجود هـم‌خطـی چندگانـه بررسی شد. با توجه به این شرایط و ارزیابی این پیش‌فرض‌ها شرایط رگرسیون چنـدمتغیره در داده‌ها برقرار بوده و امکان استفاده از این تکنیـک وجـود دارد. معادلـات رگرسـیون چندگانـه برای هر یک از اعماق خاک به تفکیک هر ایستگاه هم‌دید در منطقهٔ شمال غرب براساس مدل Enter بررسی شد. در این روش کلیهٔ متغیرهای مستقل به طور هم‌زمان وارد مدل می‌شوند تـا تأثیر کلیهٔ متغیرهای مهم و غیر مهم بر متغیر وابسته مشخص شود. به عبارتی، تمام متغیرهـا در یک مرحله به ترتیب حـداقل تـولرانس وارد تحلیـل مـی شـوند. در ایـن روابـط Y5، Y20

Y100، به ترتیب مقادیر روزانهٔ برآوردشـدهٔ دمـای ژرفـای خـاک بـرای اعمـاق ۵،۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری در ایستگاه‌های مطالعه‌شده مشخص شده است. ورودی‌ها در این رابطه بـرای هـر عمق به تفکیک هر ایستگاه هم‌دید شامل کمینهٔ دما، بیشینهٔ دما، میانگین دما، سـاعات آفتـابی و رطوبت نسبی است. همان‌گونه که می‌دانیم مقدار ضریب هر متغیر در مدل رگرسیونی گویـای درجهٔ اهمیت آن متغیر در مدل مربوطه است. ضریب تعیین بیش از ۰/۸۵ نشـان مـی‌دهـد کـه بیشترین تغییرات دمای خاک در عمق ۵ و ۲۰ سانتی‌متری ناشی از پارامترهای آب وهوایی به-خصوص پارامترهای دمایی (دمای کمینه، بیشینه، میـانگین دمـا و سـاعات آفتـابی) اسـت. بـا افزایش عمق خاک به تدریج میزان ضریب تعیین بین دمای خـاک و پارامترهـای آب وهـوایی کاهش پیدا می‌کند، این تغییرات در ایستگاه ها از ۰/۹۱ در عمق ۵ و ۲۰سـانتی‌متـری بـه ۰/۸۱ در عمق ۵۰ سانتی‌متری و در نهایت در عمق۱۰۰ سانتی‌متری به ۰/٦٦ کاهش پیدا کرده اسـت. در ادامه جهت بررسی و آشکارسازی ارتباط روند تغییـرات درجـه حـرارت خـاک بـا درجـه حرارت هوا به بررسی روند این پارامتر آب وهوایی در مقیاس سالانه در دورهٔ آماری مطالعـه-شده پرداخته شد.

جدول ۲- روابط رگرسیون چندگانه در برآورد دمای خاک در ایستگاه‌های منتخب* شمال غرب

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

ایستگاه	عمق (cm)	R^2	معادله
اردبیل	۵	۰/۹۱	$Y_5 = -۱۱,۵٦۹ + T_{min}(۰,۰۱٤) + T_{max}(۰,۱۰۲) + T_{avg}(۰,۹٤۵) + RH(۰,۱۵۱) + R_s(۰,۳۳۸)$
	۲۰	۰/۸۸	$Y_{20} = -۱۰,۰۰۲ + T_{min}(۰,۰۰۱) + T_{max}(۰,۷۱) + T_{avg}(۰,۸٦۰) + RH(۰,۱۵۱) + R_s(۰,۲۲٦)$
	۱۰۰	۰/٦٦	$Y_{100} = -۲,۵۹۵ + T_{min}(۰,۰۰۰) + T_{max}(۰,۷۲) + T_{avg}(۰,٤۸۰) + RH(۰,۱۲۰) + R_s(۰,۱۲۰)$
پارس آباد	۵	۰/۹۷	$Y_5 = -۰,۲۵۱ + T_{min}(۰,۲۳۳) + T_{max}(-۰,۱۱۰) + T_{avg}(۱,۰۸۱) + RH(۰,۰۱۷) + R_s(۰,۱٦٤$
	۲۰	۰/۹٦	$Y_{20} = ۱,۰۰۳ + T_{min}(۰,۳۵۱) + T_{max}(-۰,۰۹۷) + T_{avg}(۰,۸۵٦) + RH(۰,۰۲۳) + R_s(۰,۰۹۰)$
	۱۰۰	۰/۷۳	$Y_{100} = ٤,۸۵۹ + T_{min}(۰,۳۷۲) + T_{max}(-۰,۱۲۱) + T_{avg}(۰,٤۵۲) + RH(۰,۰٦۵) + R_s(۰,۰۹۲)$

ادامه جدول ۲

ایستگاه	عمق (cm)	R^2	معادله
اردبیل	۵	۰/۹۱	Y_5 = −۱۱,۵٦۹ + T_{min} (۰,۰۱٤) + T_{max} (۰,۱۰۲) + T_{avg} (۰,۹٤۵) + RH (۰,۱۵۱) + R_s (۰,۳۳۸)
	۲۰	۰/۸۸	Y_{20} = −۱۰,۰۰۲ + T_{min} (۰,۰۰۱) + T_{max} (۰,۷۱) + T_{avg} (۰,۸٦۰) + RH (۰,۱۵۱) + R_s (۰,۲۲٦)
	۱۰۰	۰/٦٦	Y_{100} = −۲,۵۹۵ + T_{min} (۰,۰۰۰) + T_{max} (۰,۷۲) + T_{avg} (۰,٤۸۰) + RH (۰,۱۲۰) + R_s (۰,۱۲۰)
پارس آباد	۵	۰/۹۷	Y_5 = −۰,۲۵۱ + T_{min} (۰,۲۳۳) + T_{max} (−۰,۱۱۰) + T_{avg} (۱,۰۸۱) + RH (۰,۰۱۷) + R_s (۰,۱٦٤
	۲۰	۰/۹٦	Y_{20} = ۱,۰۰۳ + T_{min} (۰,۳۵۱) + T_{max} (−۰,۰۹۷) + T_{avg} (۰,۸۵٦) + RH (۰,۰۲۳) + R_s (۰,۰۹۰)
	۱۰۰	۰/۷۳	Y_{100} = ٤,۸۵۹ + T_{min} (۰,۳۷۲) + T_{max} (−۰,۱۲۱) + T_{avg} (۰,٤۵۲) + RH (۰,۰٦۵) + R_s (۰,۰۹۲)
زنجان	۵	۰/۹٤	Y_5 = −۵,۸۱۳ + T_{min} (۰,۰٦۲) + T_{max} (۰,۱۷٦) + T_{avg} (۰,۹۰۷) + RH (۰,۰۵۷) + R_s (۰,٤٦۸)
	۲۰	۰/۹۳	Y_{20} = −۵,۱۷۰ + T_{min} (۰,۲۱۳) + T_{max} (۰,۳۳٦) + T_{avg} (۰,٤۸۳) + RH (۰,۰٦٦) + R_s (۰,۳۵۵)
	۱۰۰	۰/۷٦	Y_{100} = −۰,۹۸۸ + T_{min} (۰,۱۹۸) + T_{max} (۰,۵۵٦) + T_{avg} (−۰,۰۷۵) + RH (۰,۰۷۷) + R_s (۰,۱٤۷)
ارومیه	۵	۰/۹۵	Y_5 = ۰,۵٦۰ + T_{min} (۰,۳۰٤) + T_{max} (۰,۰۲٤) + T_{avg} (۰,۸۱۸) + RH (۰,۰۰٤) + R_s (۰,۳۱۸)
	۲۰	۰/۹٤	Y_{20} = ۰,۷۰۹ + T_{min} (۰,۲۲۲) + T_{max} (۰,۰۲۹) + T_{avg} (۰,۷۵۵) + RH (۰,۰۲۰) + R_s (۰,۲۰۵)
	۱۰۰	۰/۷٤	Y_{100} = ۳,۲۰۳ + T_{min} (۰,۳۲٤) + T_{max} (۰,۳۹۸) + T_{avg} (−۰,۰۸۱) + RH (۰,۰٤۵) + R_s (۰,۰۷۹)
تبریز	۵	۰/۹٦٦	Y_5 = ۱,۳۲۲ + T_{min} (۰,٤۲٤) + T_{max} (−۰,۰۹۰) + T_{avg} (۰,۷۹۹) + RH (۰,۰۰۷) + R_s (۰,۳۷۱)
	۲۰	۰/۹٤۳	Y_{20} = ۲,٦٤۷ + T_{min} (۰,۵٦۲) + T_{max} (۰,۱٤۵) + T_{avg} (۰,۲٤۱) + RH (۰,۰۱۰) + R_s (۰,۲٤۹)
	۱۰۰	۰/۷۸۰	Y_{100} = ۵,۷۱۸ + T_{min} (۰,۵٤۱) + T_{max} (۰,٤۱۳) + T_{avg} (−۰,۳۱۷) + RH (۰,۰۱۸) + R_s (۰,۱۷۰)
سنندج	۵	۰/۹٦۰	Y_5 = ۱,٤۱۱ + T_{min} (۰,۱۷۵) + T_{max} (۰,۲۲۲) + T_{avg} (۰,۷۲۳) + RH (−۰,۰۳۳) + R_s (۰,۲۹۰)
	۲۰	۰/۹٤۹	Y_{20} = ۲,۹٤۹ + T_{min} (۰,۲۰۲) + T_{max} (۰,۳۸۷) + T_{avg} (۰,۳۵۹) + RH (−۰,۰۲٦) + R_s (۰,۰۷۰)

ادامه جدول ۲

ایستگاه	عمق (cm)	R^2	معادله
	۱۰۰	۰/۷۷۰	$Y_{100} = ۷,۱۵۵ + T_{min}(۰,۲۹۰) + T_{max}(۰,٦٩٤) + T_{avg}(-۰,۳۵۰) + RH(-۰,۰۱۲) + R_s(-۰,۱۳۲)$

*تعداد ایستگاه‌ها ۳۱ مورد بوده است که با توجه به پراکندگی جغرافیایی، تنها نتایج مربوط به ٦ مورد از ایستگاه‌ها به دلیل محدودیت حجم پژوهش ذکر شده است.

روند یا تمایل بلندمدت، عبارت است از تحول متغیر مطالعه‌شده در یک دورهٔ طولانی؛ به عبارت دیگر می‌توان گفت روند عبارت است از حرکات رو به بالا و رو به پایین یک سری زمانی که نشان دهندهٔ کاهش یا افزایش بلندمدت یک سری زمانی است (فرج زاده، ۱۳۸۳، ص. ۲۲). جدول ۳ معناداری روند دمای سالانهٔ خاک را در منطقهٔ شمال غرب ایران نشان می‌دهد. در قسمت جنوب شرق و مرکزی پهنهٔ مورد نظر دمای خاک روند افزایشی بیشتری نسبت به سایر نواحی داشته است. روند دمای سالانهٔ خاک از دو نوع افزایشی و کاهشی برخوردار است. نواحی مرکزی و شرقی دارای بیشترین روند افزایشی دمای خاک بوده که بارز و معنادار است. ایستگاه‌هایی که در طی دورهٔ زمانی مطالعه‌شده با افزایش بیشتری در روند دمای خاک (عمق ۵ سانتی‌متری) مواجه بودند عبارتند از: سراب، تکاب، زنجان، مراغه، سقز، تبریز و قروه، در ایستگاه‌های کلیبر و بناب روند کاهشی دما به صورت غیرمعنادار اتفاق افتاده است. ایستگاه‌های سراب و بانه به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین روند افزایشی را در عمق ۵ سانتی‌متر تجربه کرده‌اند. اکثر ایستگاه‌ها در اعماق مختلف خاک با پدیدهٔ روند افزایشی دما مواجه بوده‌اند. در مجموع می‌توان گفت دمای خاک در پهنهٔ مورد نظر در برخی ایستگاه‌ها روند مشخصی نداشته و برخی دیگر دارای روند بارزی بوده‌اند. روند غالب میانگین دمای سالانهٔ خاک افزایشی بوده در قسمت‌های شمالی پهنهٔ مورد نظر به جز ایستگاه تبریز روند افزایشی چشم‌گیری در ژرفای خاک مشاهده نشد. تنها روند کاهشی دما در ایستگاه مریوان (عمق ۲۰ سانتی متر) به صورت معنادار اتفاق افتاده است. بنابراین، با توجه به نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک که نمایشگر تغییر اقلیم است و دمای سطحی خاک که نشان‌دهندهٔ تغییرات کوتاه‌مقیاس است (گلشن، سرجاز و ولاشدی، ۱۳۹٤، ص. ۳) می‌توان

دریافت که پدیدهٔ تغییر اقلیم در حال رخ دادن است و روی پارامتر دمای خاک هم تأثیر چشم‌گیری داشته است.

جدول ۳- نتایج سالانهٔ روند دمای اعماق خاک در آزمون من‌کندال در ایستگاه‌های منتخب شمال غرب ایران دورهٔ آماری (۲۰۱۵-۱۹۹۲)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

عمق	۵ سانتی‌متر		۲۰سانتی‌متر		۱۰۰سانتی‌متر		میانگین دمای هوا	
ایستگاه	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
اردبیل	**۲/۷۰۳٦۸	۰/۰۰۳٤۲۷۸	**۳/٦۹٥۸٦	۰/۰۰۰۱۰۹٦	**٤/۲٤۱٥٥	۰/۰۰۰۰۱۱۱	**۳/۲٤۹۳۸	۰/۰۰۰۰٥۷۸۳
پارس	۰/۱۷۳٦۳۱	۰/٤۳۱۱۰۷	*۱/۷٦۱۱۱	۰/۰۳۹۱۰۹۷	۰/٤۲۱٦۷٥	۰/۳۳٦٦۳۱	۰/٥۷۰٥۱	۰/۲۸٤۱٦۹
ارومیه	**۲/۲٥۷۲۰	۰/۰۱۱۹۹۷۸	۰/٦٦۹۷۱۹	۰/۲٥۱٥۱۹	-۱/۲۱٥٤۲	۰/۱۱۲۱۰٤	۱/٤۱۳۸٥	۰/۰۷۸۰۲۸
سردشت	**۲/٤۰٦۰۳	۰/۰۰۸۰٦۳٥	**۲/۹٥۱۷۲	۰/۰۰۱٥۸۰۰	**۳/۲۹۸۹۹	۰/۰۰۰٤۸٥۲	**۲/۲۰۷٥۹	۰/۰۱۳٦۳٤
تبریز	**۳/۰۰۱۳۳	۰/۰۰۱۳٤٤۰	**۲/٦۰٤٤٦	۰/۰۰٤٦۰۰۹	**۳/۲۹۸۹۹	۰/۰۰۰٤۸٥۲	**۲/۰٥۸۷۷	۰/۰۱۹۷٥۸٤
زنجان	**۳/۹۹۳٥۱	۰/۰۰۰۰۳۲٦	**۳/٤۹۷٤۲	۰/۰۰۰۲۳٤۹	**۳/۱۹۹۷۷	۰/۰۰۰٦۸۷۷	**۳/۰٥۰۹٤	۰/۰۰۱۱٤۰٦

ادامه جدول ۳

عمق	۵ سانتی‌متر		۲۰سانتی‌متر		۱۰۰سانتی‌متر		میانگین دمای هوا	
ایستگاه	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
سنندج	*۱/۹۰۹۹٤	۰/۲۰۸۰۷۵	***۳/۷۹۵۰۷	۰/۰۰۰۰۷۳۸	***۳/٤۹۷٤۲	۰/۰۰۰۲۳٤۹	***۲/۹۵۱۷۲	۰/۰۰۱۵۸۰۰
سقز	***۳/۱۵۰۱٦	۰/۰۰۰۸۱۵۹	***۲/۳۰٦۸۱	۰/۰۱۰۵۳۲۷	***۳/۲٤۹۳۸	۰/۰۰۰۵۷۸۳	***۳/۰۵۰۹٤	۰/۰۰۱۱٤۰٦
بیجار	۰/۳۷۲۰٦٦	۰/۳۵٤۹۲۲	۰/۳۲۲٤۵۷	۰/۳۷۳۵۵۳	۱/۸۱۰۷۲*	۰/۰۳۵۰۹۲۰	۲/۷۰۳٦۸**	۰/۰۰۳٤۲۸۸
قروه	۳/۰۰۱۲۳**	۰/۰۰۱۳٤٤۰	۲/۵۰۵۲٤**	۰/۰۰٦۱۱۸۳	٤/۳۹۰۳۸**	۰/۰۰۰۰۰۵۷	۳/٤۹۷٤۲**	۰/۰۰۰۲۳٤۹
مریوان	۰/۸۱۸۵٤۵	۰/۲۰٦۵۲۳	−۰/٦٦۱۹۰*	۰/۰٤۸۲٦٦۹	−۰/٦۲۰۱۱	۰/۲٦۷۵۹۳	۲/۰۰۹۱٦*	۰/۰۲۲۲٦۰۳
زرینه	۲/۹۰۲۱۲**	۰/۰۰۱۸۵۳۳	۲/٤۰٦۰۳**	۰/۰۰۸۰٦۳۵	۲/۳۰٦۸۱**	۰/۰۱۰۵۳۲۷	۳/۱۵۰۱٦**	۰/۰۰۰۸۱۵۹
بانه	۰/۱۲۳۵۷۸	۰/٤۵۰۸۲۵	۰/۰٤۱۱۹۳	۰/٤۸۳۵۷۱	۰/۳۷۰۷۳٤	۰/۳۵۵٤۱۸	۰	۰/۵
ماهنشان	۲/۳۷۵۳۸**	۰/۰۰۸۷٦۵٤	۱/٤۸٤٦۱	۰/۰٦۸۸۲۲۹	۱/٤۸٤٦۱	۰/۰٦۸۸۲۲۹	۱/۷۸۱۵٤*	۰/۰۳۷٤۱۲۳

ادامه جدول ۳

عمق	۵ سانتی‌متر		۲۰سانتی‌متر		۱۰۰سانتی‌متر		میانگین دمای هوا	
ایستگاه	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
خرمدره	۲/۵۵۴۸۵**	۰/۰۰۵۳۱۱٦	۳/۲۴۹۳۸**	۰/۰۰۰۵۷۸۳	۲/۸۰۲۹۰**	۰/۰۰۲۵۳۳	۲/۳۵٦۴۲**	۰/۰۰۹۲۲٦۱
خدابنده	۱/۴۰۹۹۰	۰/۰۷۹۲۸۵۱	۱/۲۹۷۱۰	۰/۰۹۷۲۹۷٦	۲/۸۷٦۱۹**	۰/۰۰۲۰۱۲۵	۱/۸٦۱۰٦*	۰/۰۳۱۳٦۷٦
سراب	۴/۱۹۱۹۴**	۰/۰۰۰۰۱۳۸	۳/۸۴۴٦۸**	۰/۰۰۰۰٦۰۴	۳/۳۴۸۵۹**	۰/۰۰۰۴۰٦۱	۲/۰۵۸۷۷**	۰/۰۱۹۷۵۸۴
کلیبر	-۰/۵۳۵۵۰	۰/۲۹٦۱۵۱	۰/۳۷۰۷۳۴	۰/۳۵۵۴۱۸	-۱/۳۵۹۳٦	۰/۰۸۷۰۱٦۸	۲/٦۷۷۵۲**	۰/۰۰۳۷۰۸۵
مراغه	۳/٦۹۵۸٦**	۰/۰۰۰۱۰۹٦	۴/۰۴۳۱۲**	۰/۰۰۰۰۲٦۴	۳/۸۹۴۲۹**	۰/۰۰۰۰۴۹۲	۳/۲۴۹۳۸**	۰/۰۰۰۵۷۸۳
میانه	۱/٦۱۲۲۹*	۰/۰۵۳۴۴۹۸	۱/۲٦۵۰۲	۰/۱۰۲۹۳۱	۲/۲۵۷۲۰**	۰/۰۱۱۹۹۷۸	۰/۵۲۰۸۹۲	۰/۳۰۱۲۲۱
مرند	۱/۳۰۵٦۵	۰/۰۹۵۸۳۵۳	۱/۸۴۵۹۲*	۰/۰۳۲۴۵۱۷	-۰/۳۱۵۱٦	۰/۳۷٦۳۲۱	۰/٦۷۵۳۳۸	۰/۲۴۹۷۳۱
جلفا	۰/۹٦۷۳۷۲	۰/۱٦٦۷۹	۰/۵۲۰۸۹۲	۰/۳۱۰۱۲۲۱	۱/۷٦۱۱۱*	۰/۰۳۹۱۰۹۷	۱/۲٦۵۰۲	۰/۱۰۲۹۳۱

ادامه جدول ۳

عمق	۵ سانتی‌متر		۲۰سانتی‌متر		۱۰۰سانتی‌متر		میانگین دمای هوا	
ایستگاه	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
بناب	-۰/۰۴۱۱۹	۰/۴۸۳۵۷۱	۰/۷۸۲۶۶۰	۰/۲۱۶۹۱۳	۱/۴۴۱۷۴	۰/۰۷۴۶۸۷۶	۱/۱۱۲۲۰	۰/۱۳۳۰۲۶
مهاباد	۱/۵۶۲۶۸*	۰/۰۵۹۰۶۴۲	۲/۵۰۵۲۴**	۰/۰۰۶۱۱۸۳	۳/۴۹۷۴۲**	۰/۰۰۰۲۳۴۹	۲/۵۰۵۲۴**	۰/۰۰۶۱۱۸۳
ماکو	۰/۸۱۸۵۴۵	۰/۲۰۶۵۲۳	۰/۷۱۹۳۲۸	۰/۲۳۵۹۷۰	۲/۵۰۵۲۴**	۰/۰۰۶۱۱۸۳	۱/۷۱۱۵۰*	۰/۰۴۳۴۹۶۱
پیرانشهر	۲/۷۰۳۶۸**	۰/۰۰۳۴۲۸۸	۱/۶۶۱۹۰*	۰/۰۴۸۲۶۹	۲/۲۵۷۲۰*	۰/۰۱۱۹۹۷۸	۳/۷۹۵۰۷**	۰/۰۰۰۰۷۳۸
تکاب	۴/۰۹۲۷۳**	۰/۰۰۰۰۲۱۳	۳/۷۹۵۰۷**	۰/۰۰۰۰۷۳۸	۳/۹۹۳۵۱**	۰/۰۰۰۰۳۲۶	۳/۱۹۹۷۷**	۰/۰۰۰۶۸۷۷
خوی	۲/۶۵۴۰۷**	۰/۰۰۳۹۷۶۴	۳/۸۹۴۲۹**	۰/۰۰۰۰۴۹۲	۳/۳۴۸۵۹**	۰/۰۰۰۴۰۶۱	۲/۳۵۶۴۲**	۰/۰۰۹۲۲۶۱
خلخال	۱/۶۶۱۹۰*	۰/۰۴۸۲۶۹	۱/۸۶۰۳۳*	۰/۰۳۱۴۱۹۴	۲/۵۵۴۸۵**	۰/۰۰۵۳۱۱۶	۳/۳۴۸۵۹**	۰/۰۰۰۴۰۶۱
اهر	۱/۳۱۴۶۳**	۰/۰۰۹۴۳۱۶۶	۱/۱۶۵۸۱**	۰/۰۱۲۱۸۴۶	۲/۳۰۶۸۱**	۰/۰۱۰۵۳۲۷	۱/۹۰۹۹۴*	۰/۰۲۸۰۷۰۵

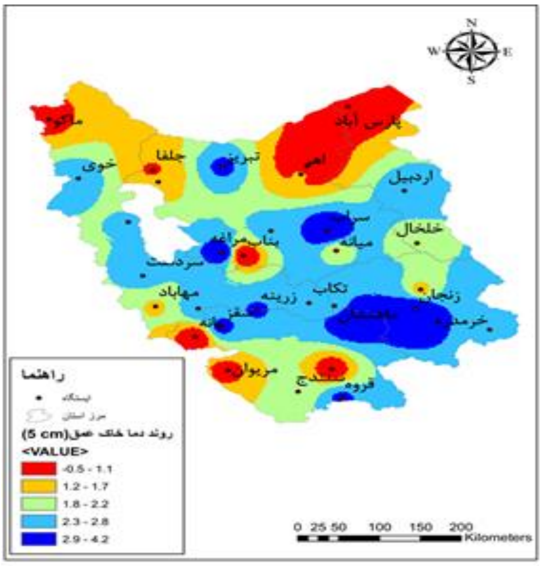
ادامه جدول ۳

عمق	۵ سانتی‌متر		۲۰سانتی‌متر		۱۰۰سانتی‌متر		میانگین دمای هوا	
ایستگاه	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value	Z	P-Value
سهند	۲/۵۶۶۷۴**	۰/۰۰۵۱۳۳۰	۳/۲۳۱۰۷**	۰/۰۰۰۶۱۶۶	۳/۰۴۹۸۹**	۰/۰۰۱۱۴۴۶	۰/۹۳۶۱۰۵*	۰/۰۱۷۴۶۱۰

** معنادار در سطح ۰/۰۱	* معنادار در سطح ۰/۰۵

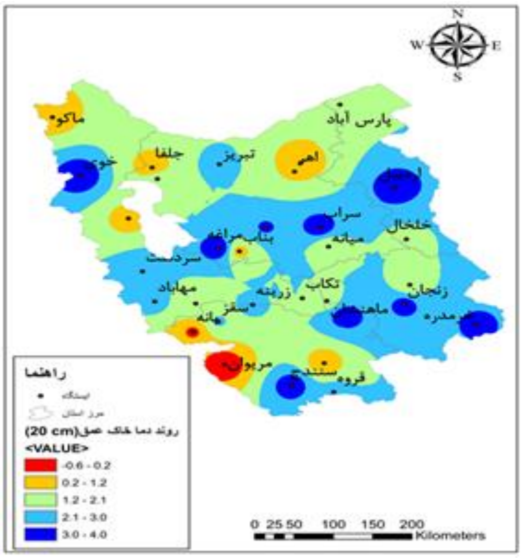
توزیع مکانی روند تغییرات سالانهٔ دمای خاک در سطح منطقهٔ مطالعه‌شده در شکل‌های ۲ تا ٤ مشخص شده است. نقشهٔ هم‌روند تغییرات دمای عمق خاک در عمق ۵ سانتی‌متری در شکل (۲) مشخص شده است. نتایج نشان دادند در مناطق مرکزی استان آذربایجان شرقی، نیمهٔ شرقی آذربایجان غربی، بخش‌های زیادی از استان زنجان و محدودهٔ شهرستان‌های اردبیل و خلخال در استان اردبیل، روند تغییرات افزایش معنی‌دار در دمای خاک مشاهده می‌شود. در واقع دشت‌های مرکزی شمال غرب از روند تغییرات بالاتری برخوردار است. در نقاط بیجار، مریوان، شمال اردبیل و ماکو روند تغییراتی قابل توجه مشاهده نشد. نقشهٔ هم‌روند تغییرات دمای عمق خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری در شکل (۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که نیمهٔ شمالی استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و غربی و نیمهٔ جنوب غربی برای استان کردستان و بخش‌هایی از شمال زنجان روند تغییرات معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ رخ می‌دهد. در نیمهٔ جنوبی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، اردبیل و بخش‌های اعظمی از استان زنجان و جنوب استان کردستان روند تغییرات در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار مشاهده شد. نقشهٔ هم‌روند تغییرات دمای عمق خاک در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در شکل (٤) مشخص شده است. نتایج نشان داد که تقریباً کل منطقهٔ شمال غرب در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری از روند تغییرات افزایشی برخوردار است و در مناطق محدودی در شمال منطقه و اطراف دریاچهٔ ارومیه و غرب نوار مرزی کردستان روند خاصی مشاهده نشد. در مناطق مرکزی شمال غرب ایران روند تغییرات افزایشی در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ معنی‌داری مشاهده شد. در مجموع نتایج توزیع مکانی روند

تغییرات در منطقهٔ شمال غرب نشان داد که بخش‌های جنوب شرق و مرکزی منطقـهٔ مطالعـه-شده، روند افزایشی بیشتری نسبت به دیگر نواحی دارد.



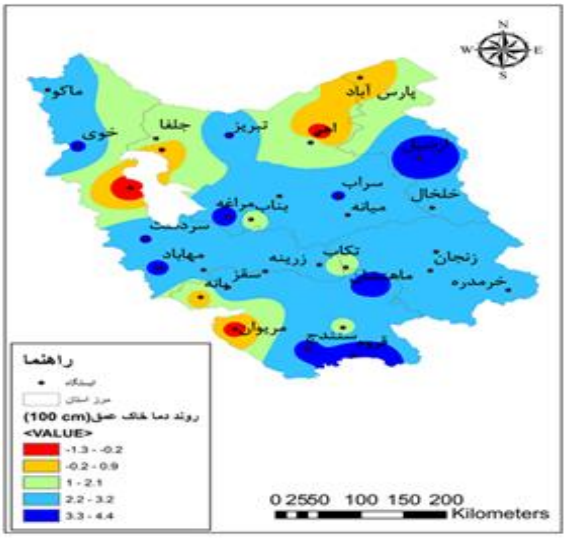
شکل ۲- روند دمای خاک عمق ۵ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦



شکل ۳- روند دمای خاک عمق ۲۰ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦



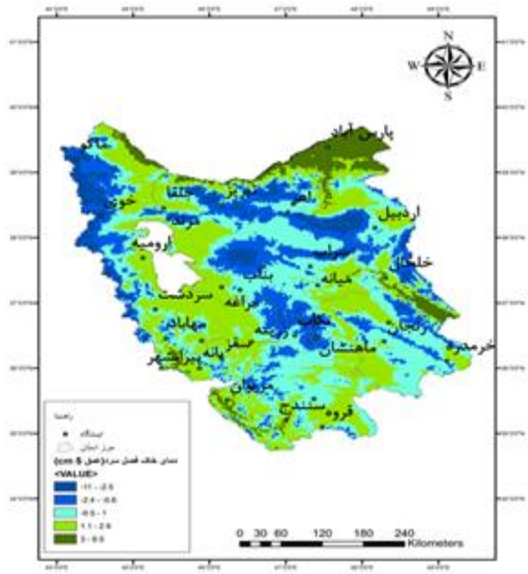
شکل ٤- روند دمای خاک عمق۱۰۰ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

توزیع مکانی دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متـری در فصـل زمسـتان در شـکل ۵ مشـخص شده است. نتایج نشان داد که در منطقهٔ شمال غرب دمای خاک از ۱۱- درجه سـانتی‌گـراد در ارتفاعات تا ٦/۵ درجهٔ سانتی‌گراد در نواحی کم‌ارتفاع متغیر است. فقط مناطقی از دشـت‌هـای پراکنده و کم‌ارتفاع و به‌خصوص نواحی اطراف دریاچهٔ ارومیه به دلیل ارتفاع کمتر نسـبت بـه دیگر نواحی، از دماهای بالاتر از صفر درجهٔ سـانتی‌گـراد در محـدودهٔ ۱/۱ تـا ۲/۹ قـرار دارد. بالاترین دماها در نواحی پست نوار شمالی در حوضهٔ رودخانـه ارس و همچنـین دره‌هـایی در منطقهٔ خلخال، پیرانشهر و مریوان حوضهٔ دریاچه زریوار با دمایی بین ۳ تا ٦/۵ درجـهٔ سـانتی-گراد مشاهده شد، نواحی مرکزی و نوار غربی منطقهٔ شمال غـرب سـردترین دماهـا را در ایـن عمق از خاک دارند. در عمق ۲۰ سانتی‌متری در منطقهٔ مطالعه‌شده کمترین دماها تا ۱۰- درجـهٔ سانتی‌گراد در مناطق مرتفع مرکزی و نوار غربی رخ داده است (شکل (٦). بالـاترین دماهـا در این عمق از خاک، منطبق بر نواحی پست نوار شـمالی و دره‌هـا بـه میـزان ۷–۵ رخ مـی‌دهـد. پهنه‌بندی دمای خاک در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در فصل زمسـتان نشـان داد کـه دمـای خـاک نسبت به عمق‌های سطحی از دماهای بالاتری برخوردار است. در واقع با افزایش عمـق خـاک از وضعیت دماهای سرد کاسته می‌شود، به طوری که در منطقهٔ شمال غرب در عمق ۵ سـانتی-متری دمای خاک تا ۱۱- سانتی متر افت پیدا کرده است در حالی که در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری پایین‌ترین دماها در ارتفاعات به میزان ٤- ثبت شده است. توزیع مکانی دمای خـاک همچنـان از عامل ارتفاع تبعیت می‌کند و دماهای سرد منطبق بر نواحی مرتفـع و کوهسـتانی و دماهـای بالای صفر در فصل سرد منطبق بر نواحی کم ارتفاع و زمین‌هـای مرطـوب نـواحی دره‌هـا رخ می‌دهد. شکل (۷) کمترین دماها در عمق های سطحی‌تر به دلیل ارتباط بیشـتر بـا پارامترهـای آب وهوایی در سطح و همچنین بالاترین دماها در عمق ۱۰۰ سانتی متری رخ می‌دهد. از نظـر توزیع مکانی عامل ارتفاع از سطح دریا نقش موثری در توزیع مکانی دمای خاک ایفا می‌کند.

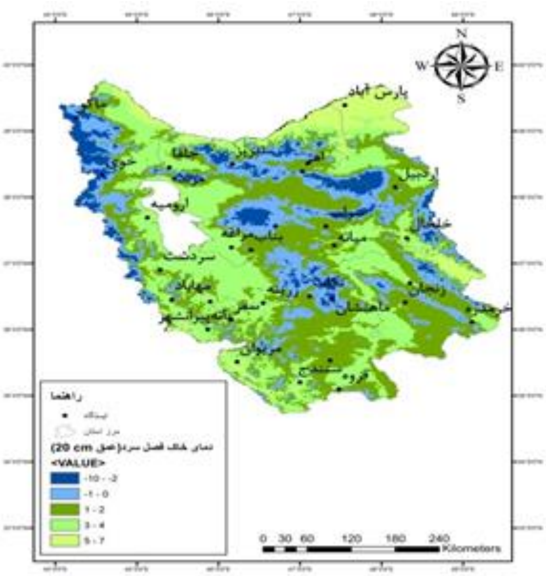
در ایام گرم سال دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری از ۱۳ تا ۳۵ درجـهٔ سـانتی‌گـراد متغیـر است. کمترین دماها با تبعیت از عامل ارتفاع در نواحی مرتفع و قله‌های کوه‌هـا مشـاهده مـی-شود. بالاترین دماها منطبق بر نواحی پست و دشت‌ها و دره‌ها به میزان ۳۵ تا ۳۱ درجهٔ سانتی-گراد رخ می‌دهد. نوار شمالی در حوضهٔ رود ارس، مناطق اطراف دریاچهٔ ارومیه بـه‌خصـوص

مناطق نیمهٔ جنوبی و درهٔ خلخال و حوضهٔ دریاچه زریوار در استان کردستان، بالاترین دماهای خاک در این عمق را دارند (شکل ۸). دمای خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری شکل (۹) نسبت به دمای عمق ۵ سانتی‌متری ۳ درجهٔ سانتی‌گراد کاهش یافته است. در این عمق از خاک خنک‌ترین دماها در نواحی مرتفع از ۲۱-۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد و گرم‌ترین دماها در نواحی کم‌ارتفاع به میزان ۳۲-۲۷ رخ می‌دهد. از نظر توزیع مکانی، مناطق نوار شمالی منطقهٔ شمال غرب در حوضهٔ رود ارس، مناطق اطراف دریاچهٔ ارومیه به‌خصوص مناطق نیمهٔ جنوبی و درهٔ خلخال و حوضهٔ دریاچه زریوار در استان کردستان، بالاترین دماهای خاک را در عمق ۲۰ سانتی‌متری دارند. در عمق ۱ متری دماها از ٦ درجهٔ سانتی‌گراد بالای صفر تا ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد تغییر پیدا می‌کند. با افزایش عمق اختلاف و دامنهٔ دمایی کمتر مشاهده شد. اختلاف دمای خاک در عمق ۵ سانتی‌متری و ۱۰۰ سانتی‌متری به میزان ۷ درجهٔ سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۱۰). از نظر مکانی کمترین دماها منطبق بر نواحی مرتفع و بالاترین دماها در نواحی کم‌ارتفاع حوضهٔ دریاچهٔ ارومیه و دشت پارس آباد رخ می‌دهد.



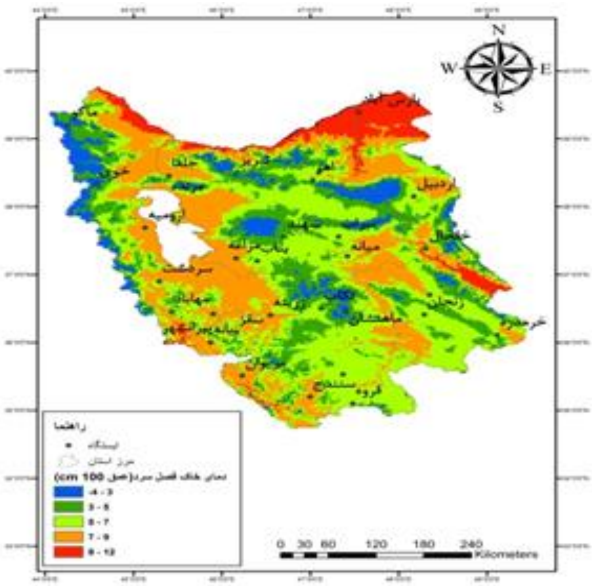
شکل ۵- پهنه‌بندی دمای خاک دورهٔ سرد، عمق ۵ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦



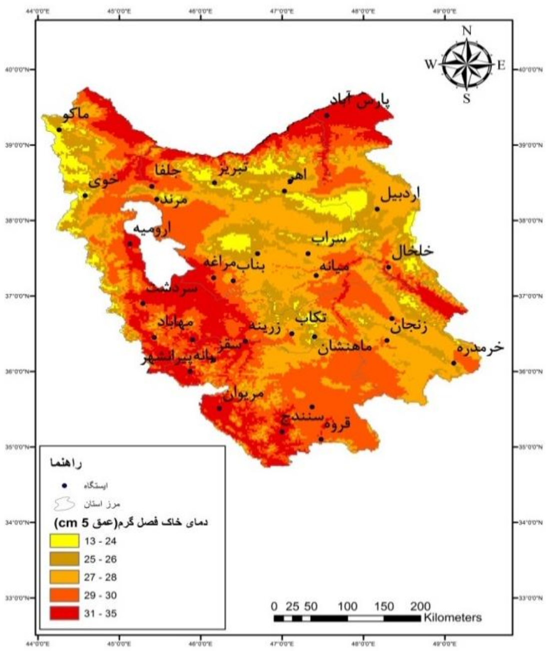
شکل ٦- پهنه‌بندی دمای خاک دورهٔ سرد، عمق ۲۰ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦



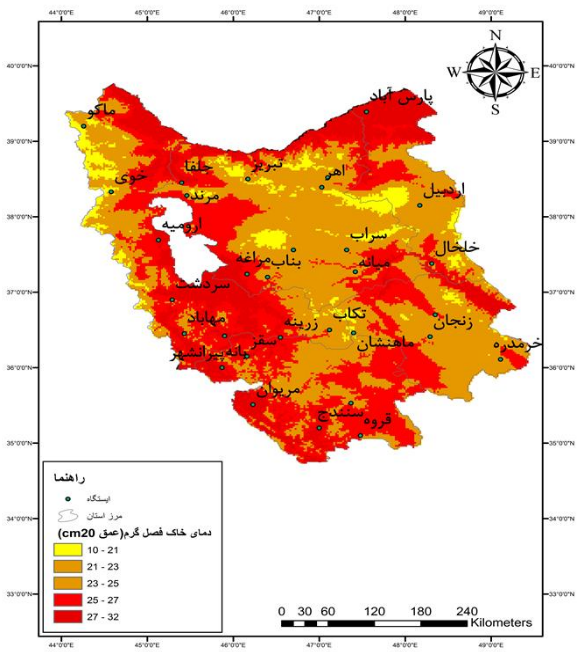
شکل۷- پهنه‌بندی دمای خاک دورهٔ سرد، عمق۱۰۰ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



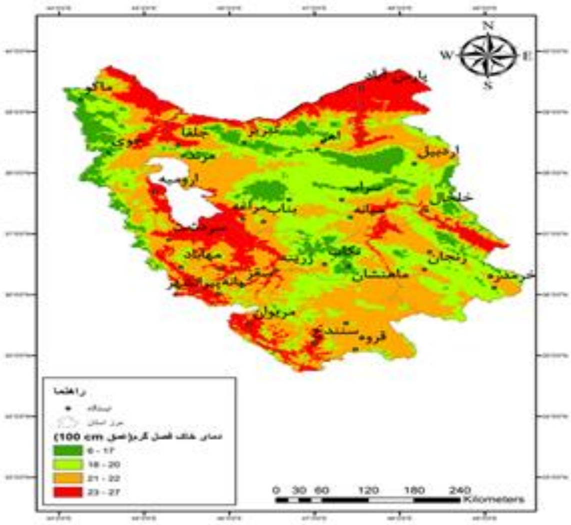
شکل ۸- پهنه‌بندی دمای خاک دورهٔ گرم، عمق ۵ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۹- پهنه‌بندی دمای خاک دورهٔ گرم، عمق ۲۰ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۶



شکل ۱۰- پهنه‌بندی دمای خاک دورهٔ گرم، عمق ۱۰۰ سانتی‌متر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹٦

نتایج اعتبارسنجی دمای اعماق ۵، ۲۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک برای دورهٔ آماری ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۵ در جدول (٤) مشخص شده است. نتایج نشان داد در عمق ۵ سانتی‌متری بالاترین میزان ضریب تعیین و کمترین میزان RMSE (ریشهٔ میانگین مربع خطاها) مشاهده می‌شود. با افزایش عمق از میزان ضریب تعیین کاسته شده و میزان RMSE افزایش می‌یابد. در تمامی ایستگاه‌های مطالعه‌شده بر اساس نتایج معیارهای اعتبارسنجی، روابط پیشنهادی در عمق ۵ سانتی‌متری و سپس عمق ۲۰ سانتی‌متری از عملکرد بالاتری برخوردار است، در تمامی ایستگاه‌ها به طور متوسط میزان RMSE بین ۲ تا ۳ مشاهده شد. با افزایش عمق میزان خطا نیز افزایش می‌یابد.

جدول ٤- آماره‌های اعتبارسنجی ایستگاه‌های منتخب شمال غرب ایران دورهٔ آماری (۲۰۱۵-۱۹۹۲)

مأخذ: نگارندگان، **۱۳۹٦**

ایستگاه	عمق	R^2	RMSE	MBE	MAE
اردبیل	۵	۰/۹۱۷	۲/٦	-۰/۰۱	۲/۰۵
	۲۰	۰/۸۸۹	۱۲/۰۸	-۱۰/۰٦	۱۰/۸۳
	۱۰۰	۰/٦٦۷	۱۲/۳۵	-۱۰/۲۲	۱۰/۸۷

ادامه جدول ٤

ایستگاه	عمق	R^2	RMSE	MBE	MAE
اردبیل	۵	۰/۹۷۲	۱/۸٤	−۰/۰۳	۱/۳۷
پارس آباد	۲۰	۰/۹٦۱	۱/۹٦	۰/۰۳	۱/٤۹
	۱۰۰	۰/۷۳٦	۳/۳۹	−۰/۰۱	۲/۸۳
	۵	۰/۹٤۸	۲/٦۵	۰	۲/۰٦
زنجان	۲۰	۰/۹۳۰	۲/۷۱	۰/۱۵	۲/۱۳
	۱۰۰	۰/۷۵٦	۳/٤۹	−۰/۰۰۱	۲/۹۳
	۵	۰/۹٦۰	۲/٤٦	۰/۰٤	۱/۸۱
سنندج	۲۰	۰/۹٤۹	۲/۳۲	−۰/۰۱	۱/۷۹
	۱۰۰	۰/۷۷۰	۳/٦٤	−۰/۰۰۱	۳/۰۸
	۵	۰/۹۳۳	۲/۸۲	۰/۰۱	۲/۲۰
سقز	۲۰	۰/۹۱۹	۲/۵۹	۰/۰۳	۱/۹۹
	۱۰۰	۰/۷۳۵	۳/۰۹	۰/۰۲	۲/۵
	۵	۰/۹٦٦	۲/۲٦	−۰/۰۰٤	۱/۷٤
تبریز	۲۰	۰/۹٤۳	۲/٤	۰/۰۱	۱/۹۱
	۱۰۰	۰/۷۸۰	۳/٤٦	۰/۰۰٦	۲/۹۱
	۵	۰/۹۵۹	۲/۲۷	−۰/۰۰۸	۱/۷٤
ارومیه	۲۰	۰/۹٤۲	۲/۳۲	−۰/۰٤	۱/۸۰
	۱۰۰	۰/۷٤۰	۳/٤۰	۰/۰۱	۲/۸٤
	۵	۰/۹۳٤	۳/۲۵	−۰/۰۵	۲/۵۱
سردشت	۲۰	۰/۹۲۷	۳/۰	−۰/۰۵	۲/۳۸
	۱۰۰	۰/۷۸٤	۳/۸٦	−۰/۰۷	۳/۱۵

٦. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در طی بررسی‌های انجام‌شده در این مطالعه مشخص شد که پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دما، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی از ارتباط معنی‌داری با دمای خاک در ایستگاه ها برخودار می‌باشند. همچنین، با افزایش عمق میزان ارتباط پارامترهای آب و هوایی

با دمای خاک کاهش یافته است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری با روش ضریب همبستگی پیرسون و رگرسیون چندمتغیره نشان داد که در تمامی ایستگاه‌ها میانگین دمای هوا بیشترین ارتباط را با تغییرات دمای خاک دارد. این میزان ارتباط بیش از ۰/۹۵ در بیشتر ایستگاه‌ها مشاهده شد همگام با نتایج این پژوهش، نجفی مود، علیزاده، محمدیان و موسوی (۱۳۸۷) و سبزی پرور، زارع ابیانه و بیات ورکشی (۱۳۸۹) نیز کاهش میزان ارتباط با افزایش عمق و بالا بودن ضریب همبستگی دمای هوا با دمای خاک را گزارش کردند. این پژوهش ابتدا به شناسایی خرده‌نواحی آب وهوایی منطقهٔ وسیع شمال غرب ایران پرداخته و دربارهٔ ارتباط دمای خاک با پارامترهای آب وهوایی بحث کرده است. ضمن این‌که مطالعهٔ روند تغییرات دمای خاک در عمق‌های مختلف و ارائهٔ نقشه‌های روند، از دیگر دستاوردهای پژوهش حاضر محسوب می‌شود. این پژوهش به دنبال ارائهٔ مدلی جهت برآورد دمای خاک با بهره‌گیری از پارامترهای آب وهوایی بود؛ اما باید توجه داشت که فاکتورهای زیادی در یک مکان بر روی درجهٔ حرارت خاک تأثیر می‌گذارند. به عنوان نمونه، ویژگی‌های پروفیل خاک، بافت خاک، پوشش برفی، تغییرات رطوبت خاک، هدایت گرمایی، گرمای ویژه، تبخیر و تابش خورشیدی همگی می‌توانند منجر به تغییر دمای خاک شوند. بنابراین، استفاده از مدل‌هایی که بتوانند همهٔ عوامل اثرگذار را دربرگیرند به دلیل نبود آمار عملی نیست. بررسی‌های انجام‌شده در ایستگاه‌های مطالعه‌شده نشان داد که رگرسیون خطی چندگانه مدل مناسبی برای پیش‌بینی دمای خاک محسوب می‌شود، R2به دست آمده اعتبار این مدل را برای اعماق ۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متری در ایستگاه‌های مطالعه‌شده، تأیید می‌کند. بنابراین، می‌توان با استفاده از این نوع رگرسیون به‌عنوان یک روش غیرمستقیم عددی با دقت و اطمینان بالا به برآورد دمای خاک پرداخت. در ایستگاه‌های مطالعه‌شده بیشترین ضریب تعیین درعمق ۵ و۲۰ سانتی‌متری مشاهده شد و با افزایش عمق خاک مقدار این ضریب کاهش و میزان خطا افزایش یافته است که نشان‌دهندهٔ وابستگی بیشتر بین پارامترهای آب و هوایی و دمای خاک در اعماق سطحی است. با توجه به نوسانات دمای عمق‌های بسیار پایین خاک که نمایشگر تغییر اقلیم است و دمای سطحی خاک که نشان‌دهندهٔ تغییرات کوتاه مقیاس است، می‌توان دریافت که پدیدهٔ تغییر اقلیم در حال رخ دادن است و روی پارامتر دمای خاک هم تأثیر چشم‌گیری داشته است.

به دلیل عایق‌بندی ژرفای خاک توسط لایه‌های بالایی، دمای خاک کمتر متأثر از پارامترهای آب وهوایی است. به عبارت دیگر، پاسخ آن به تغییرات بسیار کند است در صورتی که این پاسخ در سطح خاک از سرعت چشمگیری برخوردار است (گلستانی، سرجاز و احمدی، ۱۳۸٦، ص. ۱۷). با توجه به این‌که تراکم ریشهٔ اغلب گیاهان زراعی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر خاک است و دمای خاک مراحل مختلف فعالیت گیاه از جوانه زدن تا رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، این معادلات می‌توانند در برنامه‌های کاربردی مدیریت کشاورزی، پیش‌بینی عمق نفوذ یخبندان در فعالیت‌های عمرانی و انتقال خطوط انرژی و آب مورد استفاده مسئولان قرار گیرد. استخراج میانگین دمای شبانه‌روزی خاک فقط از ۳ نوبت اندازه‌گیری (٦:۳۰ ، ۱۲:۳۰و ۱۸:۳۰) به دست آمده است. در حالی که هیچ‌گونه دمای شبانه‌ای در آن منظور نشده است، این امر تا حدودی دقت روابط همبستگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دمای خاک در ایستگاه‌های سینوپتیک در زمین بدون پوشش گیاهی اندازه‌گیری می‌شود. به همین دلیل، در مطالعات بعدی جهت برآورد دمای خاک، استخراج روابط مشابه در سایر پوشش‌ها و سایر اقلیم‌ها و با در نظر گرفتن دیگر پارامترهای آب وهوایی پیشنهاد می‌شود.

کتاب‌نامه

۱. افشار زاده، م. (۱۳۸۹). *ارتباط نوسانات دمای هوا با دمای اعماق خاک در آذربایجان شرقی*. (پایان‌نامهٔ منتشرنشدهٔ کارشناسی ارشد آب و هواشناسی)، دانشگاه تبریز، ایران.

۲. بهیار، م. و کمالی، غ. (۱۳۸٦). رابطهٔ دمای هوا با دمای سطح و اعماق مختلف خاک. *تحقیقات جغرافیایی*، ۸٦، ۸۱–۱۰۲.

۳. ثنائی نژاد، س.، ادیب عباسی، م.، موسوی بایگی، م. و حیدری گندمان، م. (۱۳۸۷). بررسی رژیم دمایی هوا و اعماق خاک و تعیین توابع نوسانات ادواری آن‌ها در ایستگاه‌های استان کردستان. *علوم و صنایع کشاورزی*، ۲۲، ۳۳–۲۵.

٤. جعفری گلستانی، م.، رائینی‌سرجاز، م. و ضیاءتباراحمدی، م. (۱۳۸٦). برآورد دمای ژرفای خاک با بهره‌گیری از روش تجزیهٔ منحنی و همبستگی‌های رگرسیونی برای شهرستان ساری. *مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۵، ۱۲۳–۱۱۲.

۵. خلیلی اقدم، ن.، جدیدی، ت. و نعیمی، ب. (۱۳۹۲). مطالعهٔ تغییرات دمای هوا و اعماق خاک به منظور برآورد عمق نفوذ یخبندان (مطالعهٔ موردی: ایستگاه هواشناسی کشاورزی کهریز ارومیه). *دومین همایش ملی تغییر اقلیم و تاثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست*، (صص. ۸-۱)، ارومیه: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی.

٦. سبزی پرور، ع.، زارع ابیانه، ح. و بیات ورکشی، م. (۱۳۸۹). مقایسهٔ یافته‌های مدل شبکهٔ استنتاج تطبیقی عصبی فازی با مدل‌های رگرسیونی به منظور برآورد دمای خاک در سه اقلیم متفاوت. *آب و خاک*، ۲، ۲۸۵ - ۲۷٤.

۷. علیجانی، ب. و کاویانی، م. (۱۳۷۹). *مبانی آب وهواسناسی*. تهران: انتشارات سمت.

۸. فرج زاده، م. (۱۳۸٦). *تکنیک‌های اقلیم‌شناسی*. تهران: انتشارات سمت.

۹. قهرمان، ن.، ایران نژاد. پ. و نوروز ولاشدی، ر. (۱۳۹۳). مقایسهٔ عملکرد دو مدل شبیه‌سازی فیزیکی و رگرسیونی برای برآورد دمای خاک زیر پوشش چمن در اقلیم کرج. *تحقیقات آب وخاک*، ۳، ۲۵۳-۲٤۳.

۱۰. گلشن، س.، رایینی سرجاز، م. و نورورز ولاشدی، ر. (۱۳۹۲). بررسی اثر تغییراقلیم بر روند دمای خاک با استفاده از روش من‌کندال (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ کرمان)، دومین *کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی*، (صص. ۸-۲). تهران، دانشگاه خوارزمی.

۱۱. مزیدی، ا. و فلاح‌زاده، ف. (۱۳۹۰). روند دماهای سالانهٔ خاک در ایستگاه یزد. *جغرافیا و توسعه*، ۲٤، ۵۰-۳۹.

۱۲. نجفی‌مود، م.، علیزاده، ا.، محمدیان، آ. و موسوی، ج. (۱۳۸۷). بررسی رابطهٔ دمای هوا و اعماق مختلف خاک و برآورد عمق یخبندان. *مجلهٔ آب و خاک*،۲۲، ٤٦٦-٤٥٦ .

13. Ahmad, M. F., & Rasul, G. (2008). Prediction of soil temprature by air temperature: A case study for Faisalabad. *Pakistan Journal of Meteorology*, *5*(9), 19-27.
14. Bai, Y., Scott, T. A., & Min Q. (2014). Climate change implications of soil temperature in the Mojave Desert, USA. *Frontiers of Earth Science*, *8*(2), 302-308.
15. Bilgili, M., Sahin, B., & Sangun L. (2013). Estimating soil temperature using neighboring station data via multi-nonlinear regression and artificial neural network models. *Environmental Monitoring and Assessment*, *185*(1), 347-58.
16. Chow, T. T., Long, H., Mok, H., & Li, K. (2011). Estimation of soil temperature profile in Hong Kong from climatic variables. *Energy and Buildings*, *43*(12), 3568-75.
17. Ferguson, G., & Beltrami, H. (2006). Transient lateral heat flow due to land-use changes. *Earth and Planetary Science Letters*, *242*, 217-222.

18. Jungqvist, G. K., Oni, S., Teutschbein, C., Martyn, N., & Futter, M. (2014). Effect of climate change on soil temperature in Swedish Boreal forests. *PLoS One, 9*(4), 1-12.
19. Kätterer, T., & Andrén, O. (2009). Predicting daily soil temperature profiles in arable soils in cold temperate regions from air temperature and leaf area index. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science*, *59*(1),77-86.
20. Kendall, M.G. (1970). *Rank correlation methods* (2nd ed.). New York: Hafner.
21. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica, 13,* 245-259.
22. Qian B., Gregorich, E. G., Gameda, S., Hopkins, D. W., & Wang, X. L. (2011). Observed soil temperature trends associated with climate change in Canada. *Journal of Geophysical Research*, *116*(D2), 12-31.
23. Rankinen, K., Karvonen, T., & Butterfield, D. (2004). A simple model for predicting soil temperature in snow-covered and seasonally frozen soil, model description and testing. *Hydrology and Earth System Sciences, 8,* 706–716.
24. Tabari, H., Hosseinzadeh Talaee, P., & Willems, P. (2015). Short-term forecasting of soil temperature using artificial neural network. *Meteorological Applications, 22*(3), 576-85.